

Docket No.: 50395-129

#2
PATENT

JC869 U.S. PTO
10/041585
01/10/02

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Application of :
Masayuki NISHIMURA, et al. :
Serial No.: : Group Art Unit:
Filed: January 10, 2002 : Examiner:
For: OPTICAL FIBER COMPOSITE AND OPTICAL FIBER CABLE AND PRODUCTION
METHOD THEREOF

**CLAIM OF PRIORITY AND
TRANSMITTAL OF CERTIFIED PRIORITY DOCUMENT**

Commissioner for Patents
Washington, DC 20231

Sir:

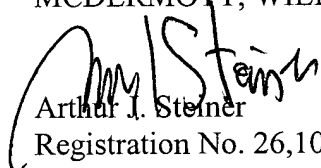
In accordance with the provisions of 35 U.S.C. 119, Applicants hereby claim the priority of:

Japanese Patent Application No. 2001-027217, filed February 2, 2001

cited in the Declaration of the present application. A certified copy is submitted herewith.

Respectfully submitted,

MCDERMOTT, WILL & EMERY


Arthur J. Steiner
Registration No. 26,106

600 13th Street, N.W.
Washington, DC 20005-3096
(202) 756-8000 AJS:mlw
Date: January 10, 2002
Facsimile: (202) 756-8087

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

50395-129
Masayuki Nishimura et al
January 10, 2002
McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 2月 2日

出願番号
Application Number:

特願2001-027217

出願人
Applicant(s):

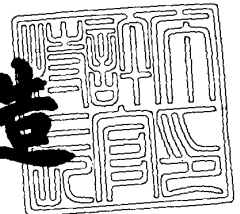
住友電気工業株式会社



2001年 8月31日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3079327

【書類名】 特許願

【整理番号】 100Y0472

【提出日】 平成13年 2月 2日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 西村 正幸

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会
社 横浜製作所内

【氏名】 田中 茂

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0001754

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ伝送路および光ケーブルならびにこれらの製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一端から他端へ順に第 1 の光ファイバ、第 2 の光ファイバおよび第 3 の光ファイバが接続され、

前記第 1 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバそれぞれが信号光波長で第 1 の波長分散値 D_1 を有し、

前記第 2 の光ファイバが前記信号光波長で前記第 1 の波長分散値 D_1 と異符号の第 2 の波長分散値 D_2 を有し、

前記第 1 の光ファイバの長さ L_1 より前記第 3 の光ファイバの長さ L_3 が短いことを特徴とする光ファイバ伝送路。

【請求項 2】 前記第 1 の光ファイバの長さ L_1 と前記第 3 の光ファイバの長さ L_3 との比 (L_3/L_1) が 0.1 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ伝送路。

【請求項 3】 前記第 3 の光ファイバの長さ L_3 が 1 k m 以下であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ伝送路。

【請求項 4】 前記第 1 の波長分散値 D_1 の絶対値より前記第 2 の波長分散値 D_2 の絶対値が大きいことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ伝送路。

【請求項 5】 一端から他端へ順に第 1 の光ファイバ、第 2 の光ファイバおよび第 3 の光ファイバが接続された請求項 1 記載の光ファイバ伝送路を製造する方法であって、

前記第 1 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバそれぞれの前記第 1 の波長分散値 D_1 、前記第 2 の光ファイバの前記第 2 の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき前記光ファイバ伝送路の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、前記第 2 の光ファイバの長さ L_2 を決定し、

長さ L_2 の前記第 2 の光ファイバの前記一端側に前記第 1 の光ファイバを接続するとともに、前記第 2 の光ファイバの前記他端側に前記第 3 の光ファイバを接続し、

前記第 1 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバそれぞれの端部の双方また

は何れか一方を切断することで、切断後の前記光ファイバ伝送路の長さを前記設計長 L_{total} とするとともに、切断後の前記第 1 の光ファイバの長さ L_1 より前記第 3 の光ファイバの長さ L_3 を短くする

ことを特徴とする光ファイバ伝送路製造方法。

【請求項 6】 請求項 1 記載の光ファイバ伝送路を複数備えることを特徴とする光ケーブル。

【請求項 7】 一端から他端へ順に第 1 の光ファイバ、第 2 の光ファイバおよび第 3 の光ファイバが接続された光ファイバ伝送路を複数備える請求項 6 記載の光ケーブルを製造する方法であって、

前記第 1 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバそれぞれの前記第 1 の波長分散値 D_1 、前記第 2 の光ファイバの前記第 2 の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき前記光ファイバ伝送路の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、前記第 2 の光ファイバの長さ L_2 を決定し、

長さ L_2 の前記第 2 の光ファイバの前記一端側に前記第 1 の光ファイバを接続するとともに、前記第 2 の光ファイバの前記他端側に前記第 3 の光ファイバを接続して、光ファイバ伝送路とし、

この光ファイバ伝送路を複数束ねて光ケーブルとし、

この光ケーブルに含まれる複数の光ファイバ伝送路それぞれについて、前記第 1 の光ファイバおよび前記第 3 の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方を切断することで、切断後の前記光ファイバ伝送路の長さを前記設計長 L_{total} とするとともに、切断後の前記第 1 の光ファイバの長さ L_1 より前記第 3 の光ファイバの長さ L_3 を短くする

ことを特徴とする光ケーブル製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、信号光波長での波長分散値の符号が互いに異なる 2 種の光ファイバが接続された光ファイバ伝送路、このような光ファイバ伝送路を複数含む光ケーブル、ならびに、このような光ファイバ伝送路および光ケーブルそれぞれを製造

する方法に関するものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムは、複数の信号チャンネルを利用して高速かつ大容量の光通信を可能にする。この WDM 伝送システムの各中継区間に敷設される光ファイバ伝送路は、信号光波長域 (例えば波長 1.55 μm 帯) において優れた信号光伝送特性を有することが望まれる。そこで、優れた信号伝送特性を有する光ファイバ伝送路として、長手方向に沿ってその伝送特性が変化するものが提案されている。

【0 0 0 3】

例えば、「T. Naito, et al., "1 Terabit/s WDM Transmission over 10,000km", ECOC'99, PD2-1 (1999)」(第 1 文献)に記載された従来の光ファイバ伝送路は、信号の進行方向から見て上流側に位置するシングルモード光ファイバ (正の波長分散を有する光ファイバ) と、下流側に位置する分散補償光ファイバ (負の波長分散を有する光ファイバ) とにより構成される。シングルモード光ファイバは、波長 1.55 μm 帯において、正の波長分散と比較的大きいモードフィールド径とを有する。一方、分散補償光ファイバは、波長 1.55 μm 帯において、負の波長分散と比較的小さいモードフィールド径とを有し、一般には非線形光学現象が発生し易い。

【0 0 0 4】

この第 1 文献に記載された従来の光ファイバ伝送路では、信号光は、先ずシングルモード光ファイバを伝搬し、続いて分散補償光ファイバを伝搬する。シングルモード光ファイバを伝搬しているときの信号光の強度は大きい、シングルモード光ファイバのモードフィールド径が比較的大きいので、非線形光学現象の発生が抑制される。そして、シングルモード光ファイバを伝搬する間に信号光の強度が低下し、この強度が低下した信号光が分散補償光ファイバを伝搬するので、分散補償光ファイバを信号光が伝搬する際における非線形光学現象の発生も抑制される。さらに、シングルモード光ファイバおよび分散補償光ファイバそれぞれの波長分散が互いに異なる符号であるので、両者の長さの比が適切に設計される

ことにより、光ファイバ伝送路全体の累積波長分散の絶対値は小さく抑えられる。このように、信号光の進行方向に沿ってシングルモード光ファイバおよび分散補償光ファイバが順に接続された光ファイバ伝送路は、非線形光学現象および累積波長分散に因る伝送品質の劣化を抑制することができる。

【0005】

また、米国特許第5,894,537号明細書（第2文献）に開示された光ファイバ伝送路は、信号光波長域において正の波長分散を有する正分散区間と負の波長分散を有する負分散区間とが、長手方向に沿って交互に設けられたものである。そして、正分散区間および負分散区間それぞれの波長分散の絶対値が大きく設定されることで、非線形光学現象（特に四光波混合）の発生が抑制されるとともに、光ファイバ伝送路全体の平均波長分散の絶対値が小さく設定されることにより、累積波長分散に因る伝送品質の劣化も抑制される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記の従来の光ファイバ伝送路は以下のような問題点を有していることを本願発明者は見出した。すなわち、上記第1文献に記載された従来の光ファイバ伝送路は、長手方向に沿って伝送特性が変化する一方で、全体の平均伝送特性が所望値であることが要求される。したがって、この光ファイバ伝送路を構成する各光ファイバの伝送特性または長さに関して制約がある。つまり、従来の光ファイバ伝送路は、全体として平均波長分散の絶対値が小さいことが要求されることから、その光ファイバ伝送路を構成するシングルモード光ファイバおよび分散補償光ファイバそれぞれの長さの比が所定の値に設定されることが必要である。

【0007】

また、上記第2文献に開示された光ファイバ伝送路も、全体の平均波長分散の絶対値が小さいことが要求されることから、正分散区間および負分散区間それぞれの長さの比が所定の値に設定されることが必要である。

【0008】

ところが、全体の平均伝送特性が所望値となるように設計された光ファイバ伝

送路が製造されたとしても、その光ファイバ伝送路の端部が切断されると、その切断後の光ファイバ伝送路の全体の平均伝送特性は所望値とならない場合がある。例えば、上述のような光ファイバ伝送路から光ケーブルを製造する過程を考えると、光ファイバ伝送路の集合、耐水圧銅管溶接およびシース押出し等の各工程では、所望の条件が得られるまで各光ファイバ伝送路の両端部それぞれが切り捨てられる（以下、これを「切り込み」という）。このような各工程で切り捨てられる両端部のファイバ長（以下「切り込み長」という）は、合計で数百 m となる。そして、切り込み前と切り込み後とでは、各光ファイバ伝送路の全体の平均伝送特性は切り込み長に応じて変化する。特に、上記第 1 文献および第 2 文献それぞれに記載された光ファイバ伝送路のように、局部的に波長分散の絶対値が大きい場合には、切り込み前後における光ファイバ伝送路の全体の平均伝送特性（平均波長分散）の変化は大きい。

【 0 0 0 9 】

上述した問題点を、上記第 1 文献に記載された光ファイバ伝送路について、図 4 に示された断面構造を有する海底光ケーブルを製造する場合を例に具体的に説明する。図 4（a）は海底光ケーブルの断面構造を示す図であり、図 4（b）は海底光ケーブルに含まれる光ファイバユニットの断面構造を示す図である。図 5 は、光ケーブル製造過程の概略を説明する図である。

【 0 0 1 0 】

図 4（a）に示されるように、光ケーブルは、複数の光ファイバ伝送路を保持する光ファイバユニットの外周に、3 分割金属管、高張力鋼線、銅チューブおよび絶縁ポリエチレン層が順に設けられることにより構成されている。光ファイバユニットは、図 4（b）に示されるように、中心鋼線の周囲に複数の光ファイバ伝送路がバッファ層（ユニット充填樹脂）を介して固定された構造を有する。

【 0 0 1 1 】

集合される各光ファイバ伝送路はシングルモード光ファイバ（SMF: Single Mode optical Fiber）と分散補償光ファイバ（DCF: Dispersion Compensating optical Fiber）とにより構成され、シングルモード光ファイバは 20 ps/nm/km の波長分散を有し、分散補償光ファイバは -45 ps/nm/km の

波長分散を有するとする。

【 0 0 1 2 】

複数の光ファイバ伝送路それぞれは、図 5 (a) に示されるように集合された後に、図 5 (b) に示されるように、 S M F 側の端部が 1 0 m だけ切断され、 D C F 側の端部が 8 0 m だけ切断される。そして、図 5 (c) に示されるように、耐水圧銅管溶接の際に、 S M F 側の端部が 9 0 m だけ切断され、 D C F 側の端部が 3 5 0 m だけ切断される。また、図 5 (d) に示されるように、シース押出しの際に、 S M F 側の端部が 1 5 0 m だけ切断され、 D C F 側の端部が 7 0 m だけ切断される。以上の工程を経て、 S M F 側では、最終的に切り込み長が 2 5 0 m となり、この切り込みに因り波長分散が $5 \text{ ps/nm} (= 20 \text{ ps/nm/km} \times 0.25 \text{ km})$ だけ変化する。一方、 D C F 側では、最終的に切り込み長が 5 0 0 m となり、この切り込みに因り波長分散が $-22.5 \text{ ps/nm} (= -45 \text{ ps/nm/km} \times 0.5 \text{ km})$ だけ変化する。したがって、上述のように複数の光ファイバ伝送路を束ねて光ケーブルを製造する場合、最終的に得られる光ケーブルに含まれる各光ファイバ伝送路の累積波長分散は -17.5 ps/nm も変化する。

【 0 0 1 3 】

仮に、光ファイバ伝送路の両端それぞれにおける切り込み長の予測が可能であれば、その予測される切り込み長に応じた累積波長分散の変化量を考慮して、ケーブル化前の各光ファイバ伝送路を設計し製造すればよい。しかしながら、切り込み長は、光ケーブル製造の各工程における条件出しの良否により異なり、また、トラブルが生じれば更に長くなることから、一定ではなくバラツキが大きい。したがって、光ケーブル製造時における切り込み長を予測することは現実にはできず、ケーブル化による累積波長分散の変化量も予測することもできない。

【 0 0 1 4 】

ところで、海底光ケーブルの場合、各光ファイバ伝送路の累積波長分散は平均して数 ps/nm 程度の誤差で設計値に合わせることが要求される。しかし、上記の例のように切り込みに因り累積波長分散が数十 ps/nm も変化し、しかも、一定ではない切り込み長に応じて累積波長分散の変化量が異なると、各光ファイバ伝送路の累積波長分散を数 ps/nm 程度の誤差で設計値に合わせることは

困難である。このような問題は、1本が中継区間全体に対応している海底光ケーブルの場合に特に顕著であり、陸上光ケーブルの場合にも同様である。なお、中継区間とは、送信局から光増幅器等を含む中継局まで、中継局から次段の中継局まで、中継局から受信局まで、の何れかの区間をいう。

【0015】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、端部の切り込みを行っても全体として所望の平均伝送特性を容易に実現することができる光ファイバ伝送路および光ケーブルならびにこれらの製造方法を提供することを目的とする。

【0016】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバ伝送路は、一端から他端へ順に第1の光ファイバ、第2の光ファイバおよび第3の光ファイバが接続され、第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれが信号光波長で第1の波長分散値 D_1 を有し、第2の光ファイバが信号光波長で第1の波長分散値 D_1 と異符号の第2の波長分散値 D_2 を有し、第1の光ファイバの長さ L_1 より第3の光ファイバの長さ L_3 が短いことを特徴とする。本発明に係る光ファイバ伝送路製造方法は、上記の本発明に係る光ファイバ伝送路を製造する方法であって、(1) 第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの第1の波長分散値 D_1 、第2の光ファイバの第2の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき光ファイバ伝送路の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、第2の光ファイバの長さ L_2 を決定し、(2) 長さ L_2 の第2の光ファイバの一端側に第1の光ファイバを接続するとともに、第2の光ファイバの他端側に第3の光ファイバを接続し、(3) 第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方を切断することで、切断後の光ファイバ伝送路の長さを設計長 L_{total} とするとともに、切断後の第1の光ファイバの長さ L_1 より第3の光ファイバの長さ L_3 を短くすることを特徴とする。

【0017】

本発明に係る光ファイバ伝送路は、本発明に係る光ファイバ伝送路製造方法に

より好適に製造され得るものであり、一端から他端へ順に、第1の光ファイバ（第1の波長分散値 D_1 、長さ L_1 ）、第2の光ファイバ（第2の波長分散値 D_2 、長さ L_2 ）および第3の光ファイバ（第1の波長分散値 D_1 、長さ L_3 ）が接続されており、第1の光ファイバの長さ L_1 より第3の光ファイバの長さ L_3 が短い。製造時には、先ず、第1の波長分散値 D_1 および第2の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき光ファイバ伝送路の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、第2の光ファイバの長さ L_2 が決定される。その後、長さ L_2 の第2の光ファイバの一端側に第1の光ファイバ（長さ L_1 以上）が接続されるとともに、第2の光ファイバの他端側に第3の光ファイバ（長さ L_3 以上）が接続される。そして、第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方が切断される。この切断後において、光ファイバ伝送路の長さが設計長 L_{total} とされるとともに、切断後の第1の光ファイバの長さ L_1 より第3の光ファイバの長さ L_3 が短くされる。

【 0 0 1 8 】

この光ファイバ伝送路は、中間にある第2の光ファイバの長さ L_2 が先ず決定され、その後の切断の際にも第2の光ファイバの長さ L_2 が不変である。そして、この第2の光ファイバの両端に接続された第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方が切断されて、光ファイバ伝送路の長さが設計長 L_{total} とされることにより、光ファイバ伝送路の平均波長分散値は平均波長分散設計値 D_{mean} となる。この切断により光ファイバ伝送路の長さが設計長 L_{total} となりさえすれば、第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの切り込み量は多少変動してもよい。

【 0 0 1 9 】

また、光ファイバ伝送路の一端から他端へ信号光が伝搬する場合、その信号光のパワーが比較的大きい第1の光ファイバは、第2の光ファイバと比べて、実効断面積が大きく、非線形光学現象が発生し難いものであることが好ましい。本発明に係る光ファイバ伝送路は、第1の光ファイバの長さ L_1 が比較的長くなっている一方で、第3の光ファイバの長さ L_3 が比較的短くなっているので、非線形光学現象に因る伝送特性の劣化を抑制することができる。このような観点からは

更に、第 1 の光ファイバの長さ L_1 と第 3 の光ファイバの長さ L_3 との比 (L_3/L_1) が 0.1 以下であるのが好適 (0.03 以下であれば更に好適) であり、或いは、第 3 の光ファイバの長さ L_3 が 1 km 以下であるのが好適である。

【0020】

また、第 1 の波長分散値 D_1 の絶対値より第 2 の波長分散値 D_2 の絶対値が大きいのが好適である。この場合には、製造された光ファイバ伝送路の実際の長さが設計長 L_{total} と異なったとしても、光ファイバ伝送路の実際の平均波長分散値と平均波長分散設計値 D_{mean} との差が小さい。なお、本発明に係る光ファイバ伝送路の好適な構成例として、第 1 および第 3 の光ファイバそれぞれは、波長 1.55 μm で波長分散値 (第 1 の波長分散値 D_1) が +17 ~ +20 ps/nm/km 程度であるシングルモード光ファイバであり、第 2 の光ファイバは、波長 1.55 μm で波長分散値 (第 2 の波長分散値 D_2) が負であってその絶対値が数十 ps/nm/km である分散補償光ファイバである。

【0021】

本発明に係る光ケーブルは、上記の本発明に係る光ファイバ伝送路を複数備えることを特徴とする。本発明に係る光ケーブル製造方法は、上記の本発明に係る光ケーブルを製造する方法であって、(1) 第 1 の光ファイバおよび第 3 の光ファイバそれぞれの第 1 の波長分散値 D_1 、第 2 の光ファイバの第 2 の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき光ファイバ伝送路の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、第 2 の光ファイバの長さ L_2 を決定し、(2) 長さ L_2 の第 2 の光ファイバの一端側に第 1 の光ファイバを接続するとともに、第 2 の光ファイバの他端側に第 3 の光ファイバを接続して、光ファイバ伝送路とし、(3) この光ファイバ伝送路を複数束ねて光ケーブルとし、(4) この光ケーブルに含まれる複数の光ファイバ伝送路それぞれについて、第 1 の光ファイバおよび第 3 の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方を切断することで、切断後の光ファイバ伝送路の長さを設計長 L_{total} とするとともに、切断後の第 1 の光ファイバの長さ L_1 より第 3 の光ファイバの長さ L_3 を短くすることを特徴とする。

【0022】

本発明に係る光ケーブルは、上述した本発明に係る光ファイバ伝送路が複数束ねられたものであり、本発明に係る光ケーブル製造方法により好適に製造され得るものである。本発明に係る光ケーブル製造方法は、上述した本発明に係る光ファイバ伝送路製造方法と略同様であり、複数の光ファイバ伝送路を束ねた後に各光ファイバ伝送路の第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方を切断するものである。

【 0 0 2 3 】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【 0 0 2 4 】

先ず、本実施形態に係る光ファイバ伝送路の構成について説明する。図1は、本実施形態に係る光ファイバ伝送路10の説明図である。同図(a)は、光ファイバ伝送路10の構成を示す図であり、同図(b)は、光ファイバ伝送路10の長手方向に沿った波長分散の分布を示す図であり、また、同図(c)は、光ファイバ伝送路10の長手方向に沿った実効断面積の分布を示す図である。この光ファイバ伝送路10は、一端10aから他端10bへ順に、第1の光ファイバ11、第2の光ファイバ12および第3の光ファイバ13が接続されて構成されている。第1の光ファイバ11と第2の光ファイバ12とは互いに融着接続され、また、第2の光ファイバ12と第3の光ファイバ13とは互いに融着接続されている。

【 0 0 2 5 】

第1の光ファイバ11は、信号光波長（例えば波長 $1.55\mu\text{m}$ ）において波長分散値が D_1 であり、実効断面積が $A_{\text{eff}1}$ であり、長さが L_1 である。第2の光ファイバ12は、信号光波長において波長分散値が D_2 であり、実効断面積が $A_{\text{eff}2}$ であり、長さが L_2 である。また、第3の光ファイバ13は、第1の光ファイバ11と同種のものであり、信号光波長において波長分散値が D_1 であり、実効断面積が $A_{\text{eff}1}$ であり、長さが L_3 である。これらのパラメータの間には、

【数 1】

$$D_2 < 0 < D_1 \quad \dots(1a)$$

$$|D_2| > D_1 \quad \dots(1b)$$

$$A_{eff2} < A_{eff1} \quad \dots(1c)$$

$$L_3 < L_1 \quad \dots(1d)$$

なる式で表される関係がある。

【 0 0 2 6】

そして、この光ファイバ伝送路 1 0 の全体の長さ L_{total} は、

【数 2】

$$L_{total} = L_1 + L_2 + L_3 \quad \dots(2)$$

なる式で表される。また、この光ファイバ伝送路 1 0 の全体の信号光波長における平均波長分散 D_{mean} は、

【数 3】

$$D_{mean} = \frac{D_1(L_1 + L_3) + D_2L_2}{L_{total}} \quad \dots(3)$$

なる式で表される。この光ファイバ伝送路 1 0 が海底光ケーブルに含まれるものである場合には、光ファイバ伝送路 1 0 の全体の長さ L_{total} は 5 0 k m であり、光ファイバ伝送路 1 0 の全体の平均波長分散 D_{mean} の絶対値は小さい値となるよう設定され、例えば、 $D_{mean} = -2 \text{ p s} / \text{ n m} / \text{ k m}$ である。光ファイバ伝送路 1 0 の全体の平均波長分散値が所望の設定値 D_{mean} となるよう、各光ファイバ 1 1 ～ 1 3 の波長分散値に基づいて、各光ファイバ 1 1 ～ 1 3 の長さ $L_1 \sim L_3$ が上記(2)式および(3)式に従って設定される。

【 0 0 2 7】

また、第 1 の光ファイバ 1 1 の長さ L_1 と第 3 の光ファイバ 1 3 の長さ L_3 との間には、

【数 4】

$$\frac{L_2}{L_1} \leq 0.1 \quad \dots(4)$$

なる関係式を満たすのが好適であり、また、

【数 5】

$$\frac{L_2}{L_1} \leq 0.03 \quad \dots(5)$$

なる関係式を満たすのが更に好適である。また、第 3 の光ファイバ 1 3 の長さ L_3 は、

【数 6】

$$L_3 \leq 1km \quad \dots(6)$$

なる関係式を満たすのが好適である。

【0 0 2 8】

次に、本実施形態に係る光ファイバ伝送路 1 0 を製造する方法について説明する。図 2 は、本実施形態に係る光ファイバ伝送路 1 0 の製造方法の説明図である。同図 (c) は、本実施形態に係る光ファイバ伝送路 1 0 の構成を示している。初めに、光ファイバ伝送路 1 0 を構成すべき第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれの第 1 の波長分散値 D_1 が求められ、第 2 の光ファイバ 1 2 の第 2 の波長分散値 D_2 が求められる。また、製造されるべき光ファイバ伝送路 1 0 の長さ L_{total} および平均波長分散値の所望の設計値 D_{mean} が決定される。そして、第 1 の波長分散値 D_1 および第 2 の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき光ファイバ伝送路 1 0 の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、上記 (2) 式および (3) 式に従って、第 2 の光ファイバ 1 2 の長さ L_2 が決定される (図 2 (a))。また、このとき、製造されるべき光ファイバ伝送路 1 0 における第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれ

の長さの和 ($L_1 + L_3$) も決定される。

【 0 0 2 9 】

その後、長さ L_2 の第 2 の光ファイバ 1 2 が用意され、この第 2 の光ファイバ 1 2 の一端側に長さ ($L_1 + \Delta L_1$) の第 1 の光ファイバ 1 1 が接続されるとともに、第 2 の光ファイバ 1 2 の他端側に長さ ($L_3 + \Delta L_3$) の第 3 の光ファイバ 1 3 が接続される (図 2 (b))。ここで、長さ L_1 , L_3 それぞれは上述した関係を有するものであり、 ΔL_1 , ΔL_2 それぞれは 0 以上である。

【 0 0 3 0 】

そして、第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれの端部の双方または何れか一方が切断される (図 2 (c))。最終的に得られる光ファイバ伝送路 1 0 では、第 1 の光ファイバ 1 1 の長さが L_1 とされ、第 3 の光ファイバ 1 3 の長さが L_3 とされる。これにより、光ファイバ伝送路 1 0 の長さが設計長 L_{total} とされるとともに、第 1 の光ファイバ 1 1 の長さ L_1 より第 3 の光ファイバ 1 3 の長さ L_3 が短くされる。また、光ファイバ伝送路 1 0 の平均波長分散値は所望の設計値 D_{mean} となる。

【 0 0 3 1 】

この光ファイバ伝送路 1 0 は、中間にある第 2 の光ファイバ 1 2 の長さ L_2 が先ず決定され、その後の切断の際にも第 2 の光ファイバ 1 2 の長さ L_2 が不変である。そして、この第 2 の光ファイバ 1 2 の両端に接続された第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれの端部の双方または何れか一方が切断されて、光ファイバ伝送路 1 0 の長さが設計長 L_{total} とされることにより、光ファイバ伝送路 1 0 の平均波長分散値は平均波長分散設計値 D_{mean} となる。この切断により光ファイバ伝送路 1 0 の長さが設計長 L_{total} となりさえすれば、第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれの切り込み量は多少変動してもよい。このように、この光ファイバ伝送路 1 0 は、端部の切り込みが行われて全体の長さが設計長 L_{total} とされるだけで、所望の平均波長分散値 D_{mean} が容易に実現される。

【 0 0 3 2 】

この光ファイバ伝送路 1 0 は、一端 1 0 a から他端 1 0 b へ信号光を伝搬させ

るものである。その信号光のパワーが比較的大きい第1の光ファイバ11は、その後段にある第2の光ファイバ12と比べて、実効断面積が大きく（上記(1c)式）、非線形光学現象が発生し難い。また、この光ファイバ伝送路10は、第1の光ファイバ11の長さ L_1 が比較的長くなっている一方で、第3の光ファイバ13の長さ L_3 が比較的短くなっている（上記(1d)式）、第2の光ファイバ12を伝搬する際の信号光のパワーを小さくすることができ、非線形光学現象に因る伝送特性の劣化を抑制することができる。

【 0 0 3 3 】

このような観点から、第1の光ファイバ11の長さ L_1 と第3の光ファイバ13の長さ L_3 との比（ L_3/L_1 ）が0.1以下である場合（上記(4)式）や、更に0.03以下である場合（上記(5)式）には、非線形光学現象に因る伝送特性の劣化を更に効果的に抑制することができる。また、第3の光ファイバ13の長さ L_3 が1 km以下である場合（上記(6)式）にも、非線形光学現象に因る伝送特性の劣化を更に効果的に抑制することができる。

【 0 0 3 4 】

また、この光ファイバ伝送路10は、第1の波長分散値 D_1 の絶対値より第2の波長分散値 D_2 の絶対値が大きい（上記(1b)式）。したがって、製造された光ファイバ伝送路10の実際の長さが設計長 L_{total} と異なったとしても、光ファイバ伝送路10の実際の平均波長分散値と平均波長分散設計値 D_{mean} との差が小さい。

【 0 0 3 5 】

次に、本実施形態に係る光ファイバ伝送路10の具体的な実施例について説明する。第1実施例では、第1の光ファイバ11および第3の光ファイバ13それぞれは、波長 $1.55 \mu m$ で波長分散値（第1の波長分散値 D_1 ）が $+17 / nm / km$ であるシングルモード光ファイバである。第2の光ファイバ12は、波長 $1.55 \mu m$ で波長分散値（第2の波長分散値 D_2 ）が $-40 ps / nm / km$ である分散補償光ファイバである。また、製造されるべき光ファイバ伝送路10は、長さ L_{total} が50 kmであり、波長 $1.55 \mu m$ における所望の平均波長分散値 D_{mean} が $-2 ps / nm / km$ である。そして、これらの数値に基づい

て、第2の光ファイバ12（分散補償光ファイバ）の長さ L_2 は17 kmと決定される。また、第1の光ファイバ11（シングルモード光ファイバ）の長さ L_1 は32.5 kmとされ、第3の光ファイバ13（シングルモード光ファイバ）の長さ L_3 は0.5 kmとされる。

【0036】

第2実施例では、第1の光ファイバ11および第3の光ファイバ13それぞれは、波長 $1.55\mu\text{m}$ で波長分散値（第1の波長分散値 D_1 ）が $+20\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である純石英コア光ファイバである。第2の光ファイバ12は、波長 $1.55\mu\text{m}$ で波長分散値（第2の波長分散値 D_2 ）が $-45\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である分散補償光ファイバである。また、製造されるべき光ファイバ伝送路10は、長さ L_{total} が50 kmであり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における所望の平均波長分散値 D_{mean} が $-2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。そして、これらの数値に基づいて、第2の光ファイバ12（分散補償光ファイバ）の長さ L_2 は17 kmと決定される。また、第1の光ファイバ11（純石英コア光ファイバ）の長さ L_1 は32 kmとされ、第3の光ファイバ13（純石英コア光ファイバ）の長さ L_3 は1 kmとされる。

【0037】

次に、本実施形態に係る光ケーブルおよびその製造方法について説明する。図3は、本実施形態に係る光ケーブル1の製造方法の説明図である。同図(d)は、本実施形態に係る光ケーブル1の構成を示している。

【0038】

本実施形態に係る光ケーブル1は、複数本（図では6本）の光ファイバ伝送路 $10_1 \sim 10_6$ が束ねられたものであって、例えば図4に示したような断面構造を有する。光ファイバ伝送路 10_n は、第1の光ファイバ 11_n 、第2の光ファイバ 12_n および第3の光ファイバ 13_n が順に接続されたものであり、上述した本実施形態に係るものである（ n は1以上6以下の任意の整数。以下同様。）。すなわち、第1の光ファイバ 11_n および第3の光ファイバ 13_n それぞれは信号光波長で第1の波長分散値 D_1 を有し、第2の光ファイバ 12_n は信号光波長で第2の波長分散値 D_2 を有し、第1の光ファイバ 11_n の長さ L_1 より第3の光ファイバ

13_n の長さ L_3 は短い。第1の光ファイバ 11_n の長さ L_1 と第3の光ファイバ 13_n の長さ L_3 との比(L_3/L_1)は、好適には0.1以下であり、より好適には0.03以下である。また、第3の光ファイバ 13_n の長さ L_3 は1km以下であるのが好適である。また、第1の波長分散値 D_1 の絶対値より第2の波長分散値 D_2 の絶対値が大きいのが好適である。

【0039】

この光ケーブル1は以下のようにして製造される。初めに、光ケーブル1に含まれる光ファイバ伝送路 10_n を構成すべき第1の光ファイバ 11_n および第3の光ファイバ 13_n それぞれの第1の波長分散値 D_1 が求められ、第2の光ファイバ 12_n の第2の波長分散値 D_2 が求められる。また、製造されるべき光ファイバ伝送路 10_n の長さ L_{total} および平均波長分散値の所望の設計値 D_{mean} が決定される。そして、第1の波長分散値 D_1 および第2の波長分散値 D_2 、ならびに、製造されるべき光ファイバ伝送路 10_n の設計長 L_{total} および平均波長分散設計値 D_{mean} に基づいて、上記(2)式および(3)式に従って、第2の光ファイバ 12_n の長さ L_2 が決定される(図3(a))。また、このとき、製造されるべき光ファイバ伝送路 10_n における第1の光ファイバ 11_n および第3の光ファイバ 13_n それぞれの長さの和(L_1+L_3)も決定される。

【0040】

その後、長さ L_2 の第2の光ファイバ 12_n が用意され、この第2の光ファイバ 12_n の一端側に長さ($L_1+\Delta L_1$)の第1の光ファイバ 11_n が接続されるとともに、第2の光ファイバ 12_n の他端側に長さ($L_3+\Delta L_3$)の第3の光ファイバ 13_n が接続される(図3(b))。長さ L_1 、 L_3 それぞれは上述した関係を有するものであり、 ΔL_1 、 ΔL_2 それぞれは0以上である。

【0041】

そして、このような光ファイバ伝送路 $10_1\sim 10_6$ が束ねられて光ケーブル1とされる(図3(c))。このケーブル化の際に、光ファイバ伝送路 $10_1\sim 10_6$ それぞれについて、第1の光ファイバ 11_n および第3の光ファイバ 13_n それぞれの両端が切り込まれる。この光ケーブル1は、一旦ドラムに巻かれ、敷設時に第1の光ファイバ 11_n および第3の光ファイバ 13_n それぞれの端部の双方

または何れか一方が切断される（図 3（d））。最終的に得られる光ケーブル 1 では、第 1 の光ファイバ $1\ 1_n$ の長さが L_1 とされ、第 3 の光ファイバ $1\ 3_n$ の長さが L_3 とされる。これにより、光ファイバ伝送路 $1\ 0_n$ の長さが設計長 L_{total} とされるとともに、第 1 の光ファイバ $1\ 1_n$ の長さ L_1 より第 3 の光ファイバ $1\ 3_n$ の長さ L_3 が短くされる。また、光ファイバ伝送路 $1\ 0_n$ の平均波長分散値は所望の設計値 D_{mean} となる。

【 0 0 4 2 】

この光ケーブル 1 に含まれる各光ファイバ伝送路 $1\ 0_n$ は、中間にある第 2 の光ファイバ $1\ 2_n$ の長さ L_2 が先ず決定され、その後の切断の際にも第 2 の光ファイバ $1\ 2_n$ の長さ L_2 が不変である。そして、この第 2 の光ファイバ $1\ 2_n$ の両端に接続された第 1 の光ファイバ $1\ 1_n$ および第 3 の光ファイバ $1\ 3_n$ それぞれの端部の双方または何れか一方が切断されて、光ケーブル 1 の長さが設計長 L_{total} とされることにより、光ファイバ伝送路 $1\ 0_n$ の平均波長分散値は平均波長分散設計値 D_{mean} となる。この切断により光ケーブル 1 の長さが設計長 L_{total} となりさえすれば、第 1 の光ファイバ $1\ 1_n$ および第 3 の光ファイバ $1\ 3_n$ それぞれの切り込み量は多少変動してもよい。このように、この光ケーブル 1 は、端部の切り込みが行われて全体の長さが設計長 L_{total} とされるだけで、所望の平均波長分散値 D_{mean} が容易に実現される。

【 0 0 4 3 】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、種々の変形が可能である。例えば、上記実施形態に係る光ケーブル 1 では、第 1 の光ファイバ $1\ 1_1 \sim 1\ 1_6$ および第 3 の光ファイバ $1\ 3_1 \sim 1\ 3_6$ それぞれの信号光波長における波長分散値 D_1 は同一であって、第 2 の光ファイバ $1\ 2_1 \sim 1\ 2_6$ それぞれの信号光波長における波長分散値 D_2 も同一であるとして、第 2 の光ファイバ $1\ 2_1 \sim 1\ 2_6$ それぞれの長さ L_2 を互いに同一とした。しかし、パラメータ n の各値について第 1 の光ファイバ $1\ 1_n$ および第 3 の光ファイバ $1\ 3_n$ それぞれの波長分散値 D_1 が同一であれば充分であって、パラメータ n によって波長分散値 D_1 や D_2 が異なってもよく、また、パラメータ n によって第 2 の光ファイバ $1\ 2_n$ の長さ L_2 が異なってもよい。

【 0 0 4 4 】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明によれば、中間にある第2の光ファイバの長さ L_2 が先ず決定され、その後の切断の際にも第2の光ファイバの長さ L_2 が不変である。そして、この第2の光ファイバの両端に接続された第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの端部の双方または何れか一方が切断されて、光ファイバ伝送路または光ケーブルの長さが設計長 L_{total} とされることにより、光ファイバ伝送路の平均波長分散値は平均波長分散設計値 D_{mean} となる。この切断により光ファイバ伝送路または光ケーブルの長さが設計長 L_{total} となりさえすれば、第1の光ファイバおよび第3の光ファイバそれぞれの切り込み量は多少変動してもよい。このように、この光ファイバ伝送路または光ケーブルは、端部の切り込みが行われて全体の長さが設計長 L_{total} とされるだけで、所望の平均波長分散値 D_{mean} が容易に実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本実施形態に係る光ファイバ伝送路10の説明図である。

【図2】

本実施形態に係る光ファイバ伝送路10の製造方法の説明図である。

【図3】

本実施形態に係る光ケーブル1の製造方法の説明図である。

【図4】

海底光ケーブルの断面図である。

【図5】

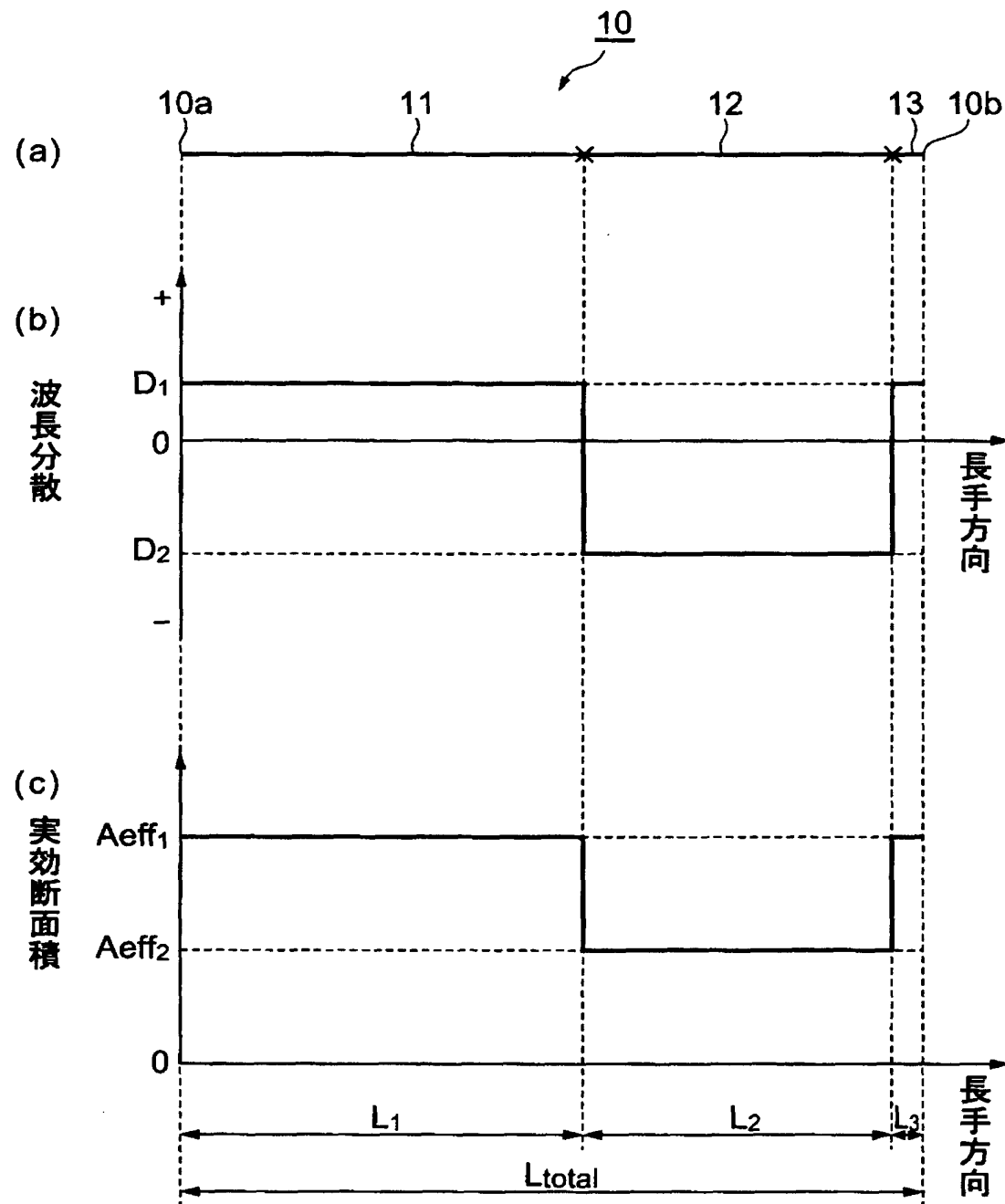
光ケーブル製造過程の概略を説明する図である。

【符号の説明】

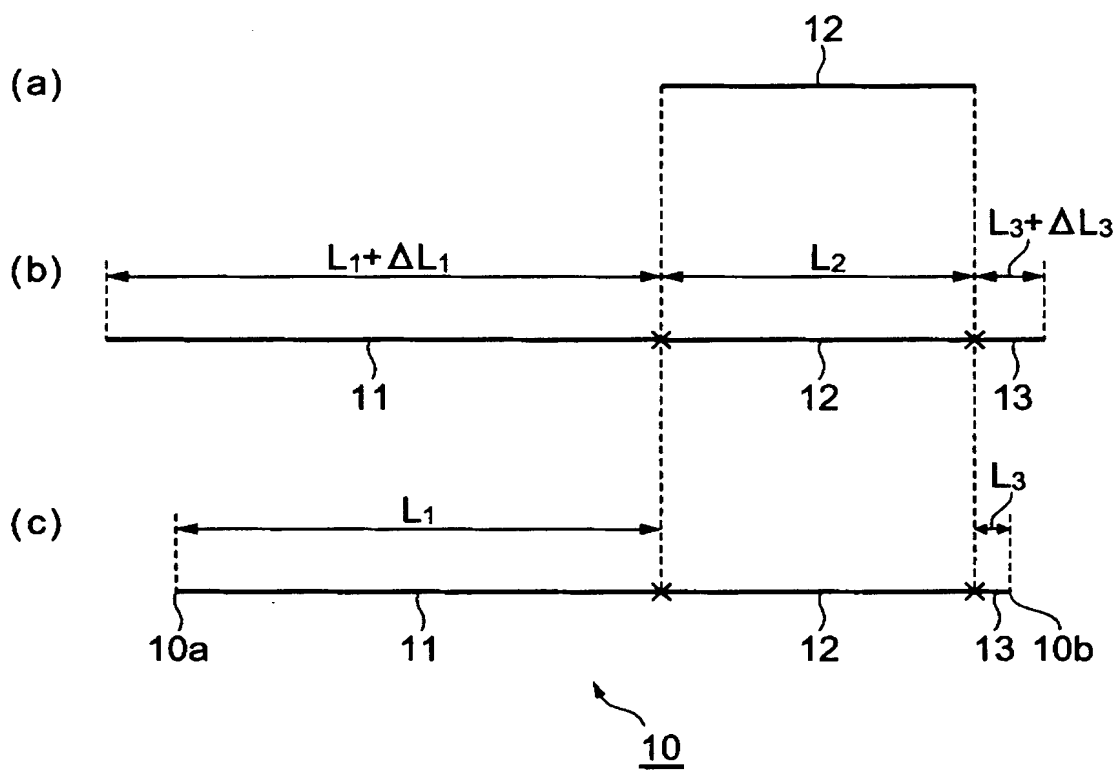
1…光ケーブル、10…光ファイバ伝送路、11…第1の光ファイバ、12…第2の光ファイバ、13…第3の光ファイバ。

【書類名】 図面

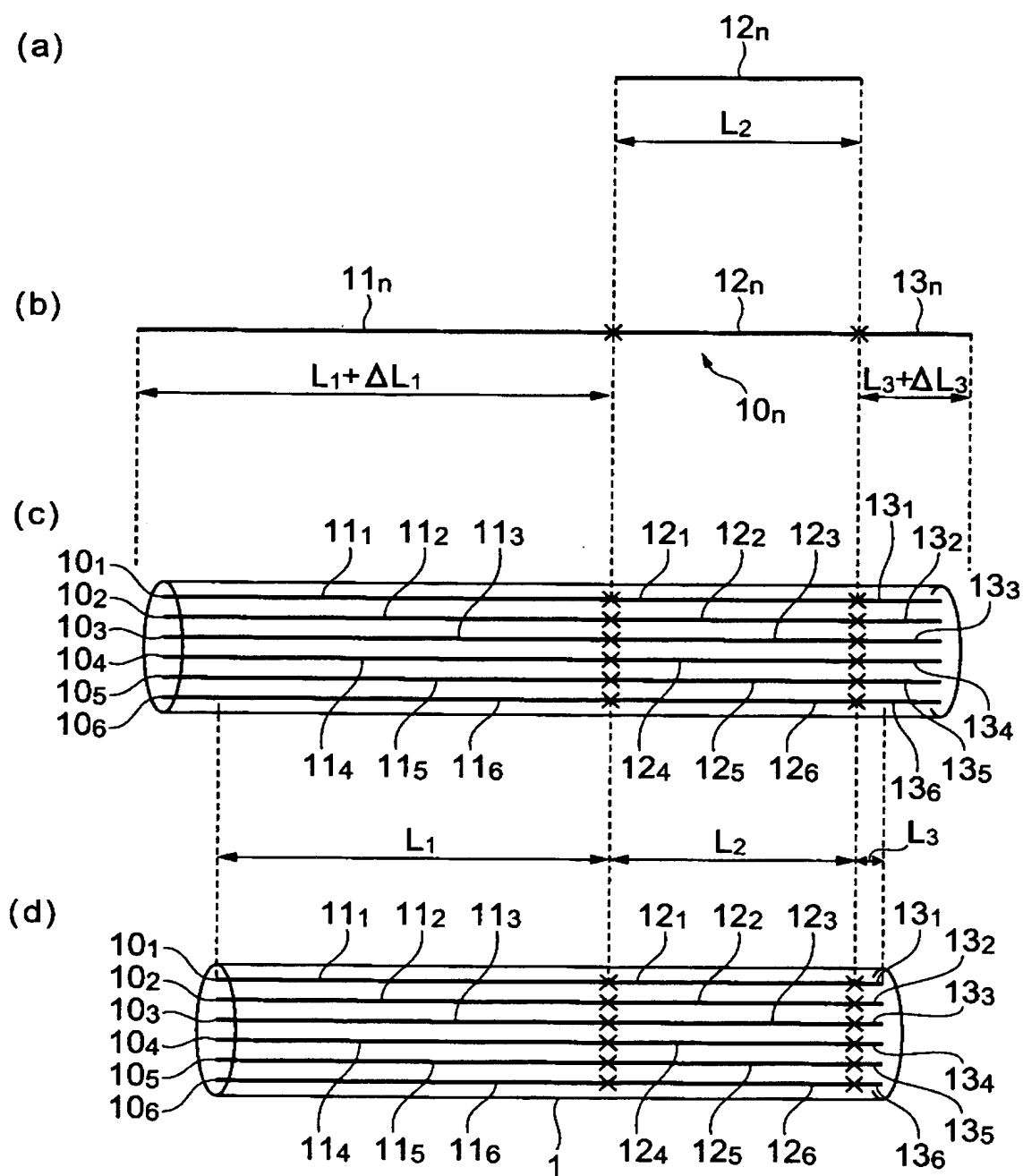
【図 1】



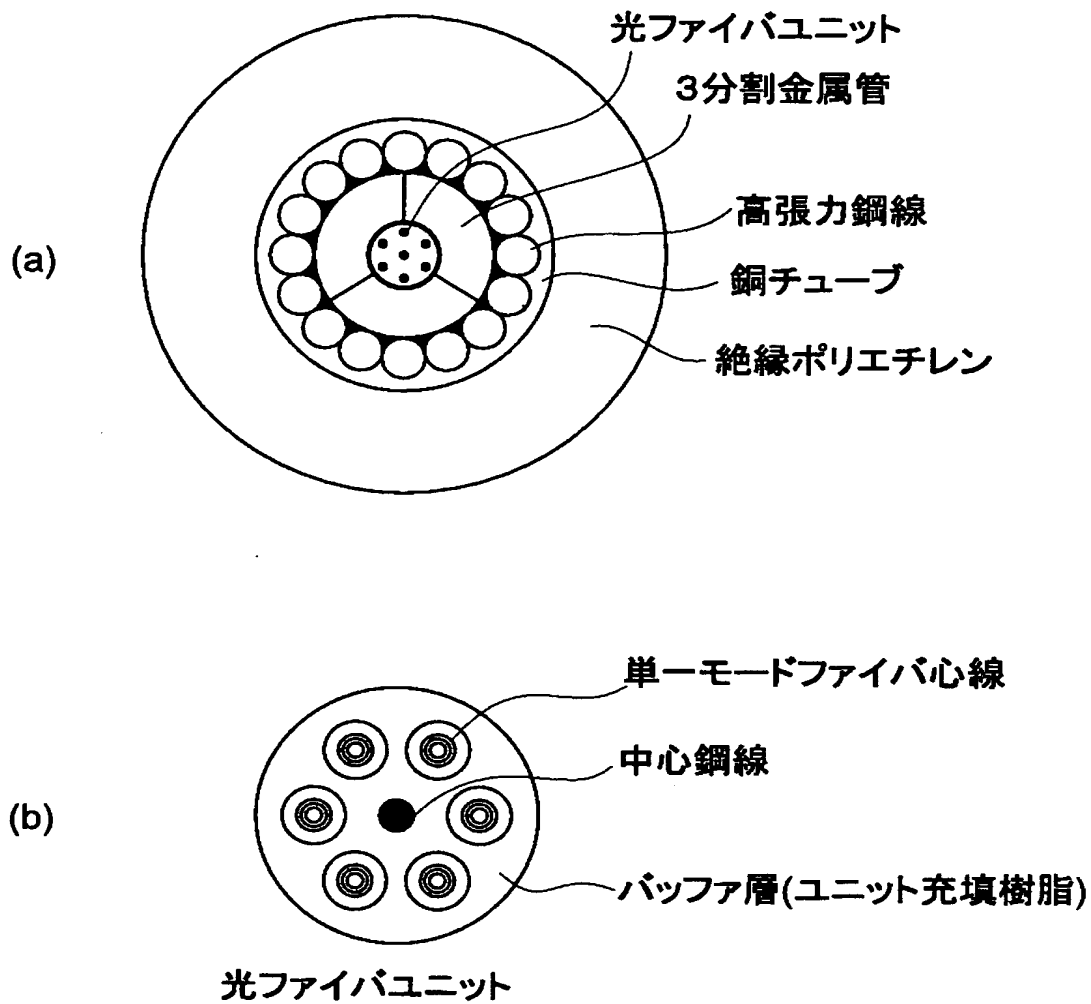
【図 2】



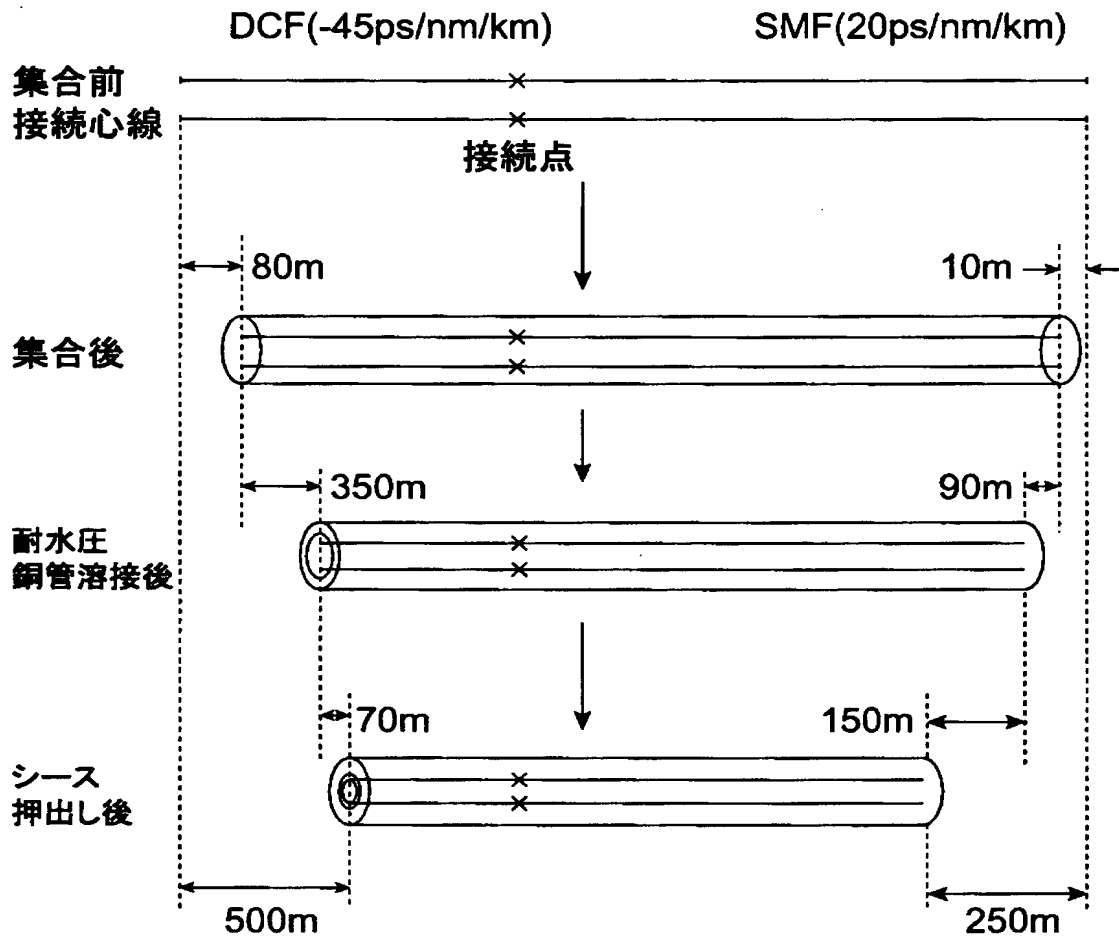
【図 3】



【図 4】



【図 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 端部の切り込みを行っても全体として所望の平均伝送特性を容易に実現することができる光ファイバ伝送路等を提供する。

【解決手段】 光ファイバ伝送路 1 0 は、第 1 の光ファイバ 1 1、第 2 の光ファイバ 1 2 および第 3 の光ファイバ 1 3 が順に接続されたものである。第 1 の光ファイバ 1 1 および第 3 の光ファイバ 1 3 それぞれは信号光波長で第 1 の波長分散値 D_1 を有し、第 2 の光ファイバ 1 2 は信号光波長で第 2 の波長分散値 D_2 を有し、第 1 の光ファイバ 1 1 の長さ L_1 より第 3 の光ファイバ 1 3 の長さ L_3 は短い。第 1 の光ファイバ 1 1 の長さ L_1 と第 3 の光ファイバ 1 3 の長さ L_3 との比 (L_3 / L_1) は、好適には 0. 1 以下である。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏 名	住友電気工業株式会社